수직자기이방성을 나타내는 W/CoFeB/MgO 박막에서 W두께와 열처리 온도에 따른 계면 드잘로신스키-모리야 상호작용 변화 분석

Interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction in W/CoFeB/MgO films with perpendicular magnetic anisotropy tuned by variation of the W thicknesses and annealing temperatures

Gyu Won Kim[1*], Yong Jin Kim[1], In Ho Cha[1], Alexander S. Samardak[2†], Bappaditya Pal[2], Alexander G. Kolesnikov[2], Alexey V. Ognev[2], Alexandr V. Sadovnikov[3,4], Sergey A. Nikitov[3,4] and Young Keun Kim[1†]

[1]Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul 02841, Korea
[2]School of Natural Sciences, Far Eastern Federal University, Vladivostok 690950, Russia
[3]Laboratory "Metamaterials," Saratov State University, Saratov, 410012, Russia
[4]Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics, Russian Academy of Sciences, Moscow, 125009, Russia

카이랄(chiral) 형태의 자구벽 및 스커미온 등의 스핀구조는 차세대 논리(logic) 및 메모리 소자의 동작 원리로 응용 할 수 있다는 점에서 활발한 연구가 진행되고 있다 [1]. 그 중에서도 계면 드잘로신스키-모리야 상호작용(interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction, iDMI)에너지 밀도는 자성체 내부 자화구조의 동역학에 영향을 줄 수 있고 추가적인 교환 에너지(exchange energy)를 만들 수 있다는 점에서 관심을 끌고 있다. 또한 수직자기이방성을 갖는 Pt/Co/AlOx 구조와 Pt/CoFeB/AlOx구조에서 자성층의 두께 변화에 따른 iDMI의 변화 경향성에 대해서는 선행 연구를 통해 보고 된 바가 있다 [2]. 본 연구에서는 앞선 연구와 달리 수직자기이방성을 갖는 W/CoFeB/MgO 구조에서 비자성층(nonmagnetic layer)의 두께와 열처리 온도를 변화시켜 iDMI 에너지 밀도의 크기를 측정함으로써 비자성층 두께와 열처리 온도 의존성을 밝히고자 하였다. 실험에 사용된 시편은 스퍼터링 장치를 통해 증착하였고 시편의 구조는 Si/SiO_2/W t_W/CoFeB 0.9/MgO 1/Ta 2 (단위는 nm)이다. 실험에 사용된 CoFeB의 조성은 $Co_{40}Fe_{40}B_{20}$이고 W의 두께는 1-15 nm로 나누어 2 nm의 간격으로 실험을 진행하였으며, 열처리는 300°C (W3) 와 400°C (W4)에서 1시간동안 실시하였다. 시편의 자성특성을 평가하기 위해 진동시편자력계(VSM)을 사용하였으며, iDMI 에너지 밀도는 브릴루앙광산란법(BLS)를 통해 측정하였다. 그림 1의 (a), (b)는 각각 300°C와 400°C에서 열처리한 시편의 수직방향의 자력곡선을 나타내며 모든 시편에서 수직자기이방성을 나타냄을 알 수 있다. 특히, 400°C에서 열처리를 한 경우에서도 수직자기이방성이 사라지지 않는데, 이는 실제 메모리 반도체 공정에서 400°C의 후 열처리 공정이 반드시 수반되어야 하므로 실제 소자 응용 측면에서 특성을 잃지 않는다는 점에서 주목할 만하다. 그림 2는 브릴루앙광산란을 이용해 iDMI 에너지 밀도의 변화를 다른 열처리 온도에서 측정한 결과이다. 300°C에서 열처리한 W3 시리즈 시료의 경우 W층의 두께가 두꺼워짐에 따라 iDMI 에너지 밀도 또한 증가하는 경향을 갖는다는 것을 확인 할 수 있다. 하지만, 400°C에서 열처리를 진행한 W4 시리즈 시료의 경우 iDMI 에너지 밀도가 11 nm의 W 두께에서 최댓값을 보이고 이후의 두께에서는 감소하는 경향을 보인다. 위와 같은 결과를 통해 자성층의 두께만이 아니라 비자성층의 두께 변화를 통해서도 iDMI 에너지 밀도를 조절 할 수 있음을 알 수 있다.

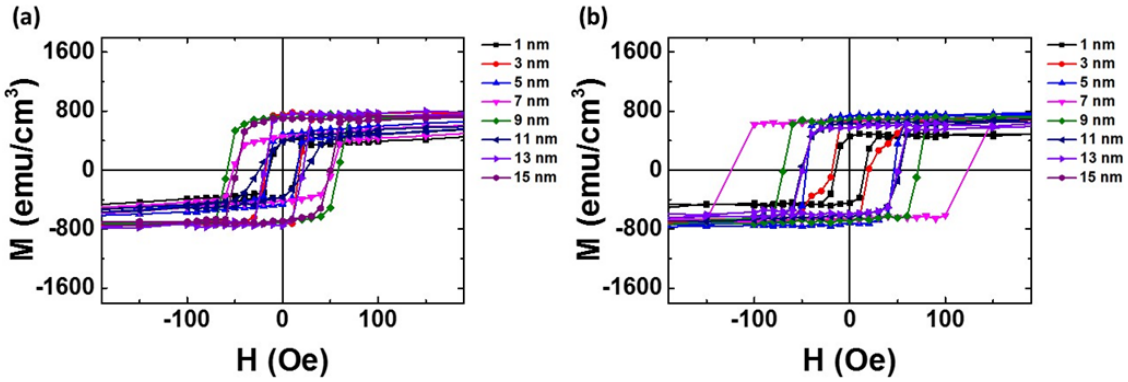

그림 1. (a)300℃와 (b)400℃에서 열처리한 시료의 수직방향 자화이력곡선

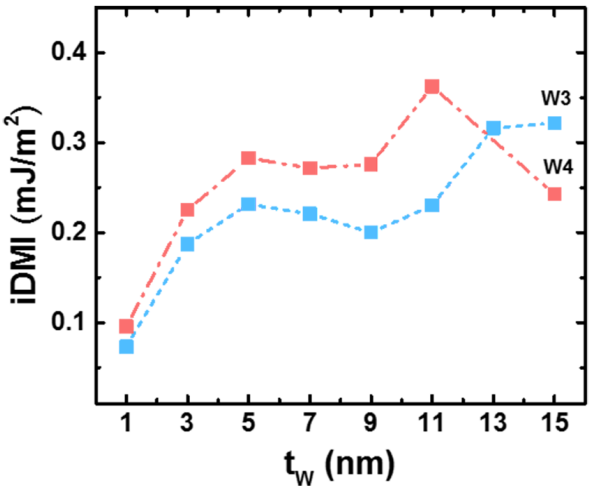

그림 2. W3 시리즈와 W4 시리즈의 iDMI 에너지 밀도

참고문헌

[1] J. Sampaio et al., Nat. Nanotechnol. **8**, 839 (2013)

[2] J. Cho et al., Nat. Comms. **6**, 7635 (2015)